

通航分道中船舶碰撞危险度的模糊综合评判模型

□海军兵种指挥学院 李楚刚 施平安

摘要: 针对分道通航制区域中船舶行驶的特点,利用模糊综合评判方法,考虑分析了目标船相对本船的位置(距离 d 、方位 Φ)、最近会遇距离(DCPA)和最接近点时间(TCPA)四个因素对碰撞危险度的影响,给出了适合分道通航情况下各个因素的危险度隶属函数,并运用层次分析法对考虑因素的权重进行了分配,建立了分道通航下的碰撞危险度模型。

关键词: 分道通航 碰撞危险度 综合评判 层次分析法

1 引言

碰撞危险度是对船舶间存在碰撞危险的评价,是对船舶碰撞可能性的度量。在船舶避碰领域的研究中,这是一个非常重要的概念。只有存在碰撞危险,才有必要采取避免危险的措施。许多专家学者运用模糊综合评判的方法对碰撞危险度进行了研究,取得了很多研究成果。但这些研究成果不能很好地适用于分道通航情况下的船舶间碰撞危险度的评判。

行驶于分道通航制区域中的船舶需要严格遵守分道通航的规章。在规则中明确要求,使用分道通航制区域的船舶应该:在相应通航分道内顺着该分道的船舶总流向行驶;如不得不穿越通航分道时,应尽可能用与分道的船舶总流向成直角的航向穿越;不是必要时,通常不应进入分隔带或穿越分割线。这些显著特点导致分道通航下船舶间碰撞危险度的评判不同于其他水域。针对这一问题,本文应用模糊综合评判的方法,参考船舶领域理论,建立分道通航下的船舶碰撞危险度的评判模型。

2 碰撞危险度模型的建立

2.1 模型的考虑因素

碰撞危险和许多因素有关。在 ARPA 雷达中,判断目标船是否存在碰撞危险时,主要是根据目标船的 DCPA、TCPA 参数值的大小来判断的。而目前已有的碰撞危险度的数学模型中,在考虑因素的数目上各有不同:有的仅考虑 DCPA、TCPA 的影响,有的在此基础上综合考虑目标船的距离和相对方位,有的进一步考虑了船速比、碰角等因素,还有的考虑了其他得更多的因素。在评判碰撞危险度时,仅考虑 DCPA 和 TCPA 两个因素是不够充分的,而且仅凭这两个因素无法确定目标船的相对位置,得到的碰撞危险度不够符合实际;另一方面,在利用模糊数学综合评判方法进行危险度评判中,各

因素的隶属函数、权重分配大都是参考经验公式、专家意见或通过拟合得到的,因此考虑的因素过多会导致要建立正确模型的难度增大,实现困难,且过多因素易产生某些因素对结果的反复影响。另外,通过综合考虑目标船的距离和 TCPA 两个因素,可以间接反映出两船相对速度对碰撞危险的影响,因此有的模型里考虑的船速比(目标船船速与本船船速之比)对评判碰撞危险度的效果并不会会有太大的提高。

因此,本文认为,从船舶一般都能够方便获取的信息和各因素对碰撞危险的影响程度来看,最基本的影响因素有:目标船的相对位置(距离 d 、方位 Φ)、最近会遇距离(DCPA)和最接近点时间(TCPA)。这些信息都可以来源于一般船舶都装备了的雷达。基于这些考虑因素得到的碰撞危险度也能够满足实际的需要。

在分道通航制区域中,通航分道的宽度(C)对于判定目标船的距离危险度有重要影响。通航分道宽度的大小,决定了船舶遵守规则下可航行水域的宽度,也标示了航向大致与本船相同的船舶距本船的横距范围,它是后文确定船舶领域边界范围的重要参数。但是具体通航分道的宽度值是基本固定的,不因目标船不同而改变,可以在目标船距离(d)因素对碰撞危险度的影响中考虑,并且它对其他三个因素的影响并不明显。所以,通航分道的宽度不需要列为单独的影响因素。

值得注意的是,本文中确定目标船距离因素(d)对碰撞危险度的影响是通过考虑船舶领域的方法得到的,船舶领域的确定本身与船速、海域情况、交通密度等因素有关,间接意义上,本文建立的碰撞危险度模型也就综合考虑了以上的各个因素。

2.2 模糊综合评判模型

目标参数为:目标船与本船相对距离 d ;目标船方位 Φ ;最近会遇距离 DCPA;最近会遇时间 TCPA。分别记为 d, Φ, D, T 。由此构成:

目标因素集为: $U=\{d, \Phi, d, t\}$;

目标评价集为: $V=\{r_1, r_2\}$ 式中: r_1 为目标船危险; r_2 为目标船安全;

目标因素的权重分配为: $A=(\alpha_d, \alpha_\Phi, \alpha_D, \alpha_T)$ 式中: $\alpha_d>0, \alpha_\Phi>0, \alpha_D>0, \alpha_T>0$, 且 $\alpha_d+\alpha_\Phi+\alpha_D+\alpha_T=1$ 。各权重的选择应根

据目标各因素对碰撞危险的贡献大小来决定。

目标评判矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} r_d & 1-r_d \\ r_\Phi & 1-r_\Phi \\ r_D & 1-r_D \\ r_T & 1-r_T \end{bmatrix} \quad \text{式中: } \alpha_d, \alpha_\Phi, \alpha_D, \alpha_T \text{ 为目标船各因素的危险隶}$$

属度,即目标船各因素对本船构成碰撞危险程度的特征函数。

有: $0 \leq \alpha_d \leq 1, 0 \leq \alpha_\Phi \leq 1, 0 \leq \alpha_D \leq 1, 0 \leq \alpha_T \leq 1$ 。

目标船的综合评判结果为: $E=AgR$ 即为:

$$E = [\alpha_d r_d + \alpha_\Phi r_\Phi + \alpha_D r_D + \alpha_T r_T, 1 - (\alpha_d r_d + \alpha_\Phi r_\Phi + \alpha_D r_D + \alpha_T r_T)]$$

由上面的条件可知: $\alpha_d r_d + \alpha_\Phi r_\Phi + \alpha_D r_D + \alpha_T r_T \leq 1$

因此, E 满足归一化条件, E 中第一项为目标船的危险度;第二项为目标船的安全度。即目标船碰撞危险度(CR)为:

$$CR = \alpha_d r_d + \alpha_\Phi r_\Phi + \alpha_D r_D + \alpha_T r_T$$

由上式可见目标船的碰撞危险度为目标船各因素 d, Φ, D, T 对本船的危险隶属度 r_d, r_Φ, r_D, r_T 的加权之和。目标船碰撞危险度取值范围为 $CR \in [0, 1]$ 。

2.3 权重的分配

目标因素集各因素权重的合理分配应根据目标船的 d, Φ, D, T 对碰撞危险的贡献大小来决定,同时应该考虑规则的要求。通过调查统计,DCPA 是判断碰撞危险最重要的参数,其次是 d 或 TCPA,最后是 Φ ,对结果进行分析可发现结论基本正确。因为无论其他因素取值情况如何,只要 DCPA 过小,则两船一定存在碰撞危险,因此应该给予 DCPA 最大的权重。对于 d 和 TCPA,两者的结合可以反映出两船接近的相对速度,同时两者在反映碰撞危险大小上有直接的制约关系, d 大而 TCPA 小或 TCPA 大而 d 小,两种情况都要求船舶要注意“及早采取”行动,因此和应该具有同等的权重,以使两者对碰撞危险的影响达到平衡。相对来说, Φ 因素比不上前三个因素重要。

另外,在分道通航制区域中,横越分道和进出分道的目标船对本船来说具有更大的碰撞危险。考虑这种情况可以发现,当这种目标船对本船存在碰撞危险时,它的一定较大,而 r_d, r_Φ 有可能都较小,这也符合前面的结论。

下面应用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 对权重进行量化,以决定各因素的权重分配:

(1) 由上面各因素重要性之间的比较,可以建立判断矩阵:

$$P = \begin{bmatrix} d & 1 & 3 & 1/5 & 1 \\ \Phi & 1/3 & 1 & 1/7 & 1/3 \\ D & 5 & 7 & 1 & 5 \\ T & 1 & 3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

(2) 对各列元素归一化,得:

$$P' = \begin{bmatrix} d & 0.136 & 0.214 & 0.130 & 0.136 \\ \Phi & 0.045 & 0.071 & 0.093 & 0.045 \\ D & 0.682 & 0.500 & 0.648 & 0.682 \\ T & 0.136 & 0.214 & 0.130 & 0.136 \end{bmatrix}$$

$$\text{由 } \alpha_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 P'_{ij}, \text{ 得: } \alpha_d = 0.154, \alpha_\Phi = 0.064, \alpha_D = 0.628, \alpha_T = 0.154$$

(3) 评估判断矩阵的一致性:

$$\text{判断矩阵的最大特征值 } \alpha_{\max} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 P'_{ij} g \alpha_j = 4.07$$

$$P \text{ 的一致性指标为: } CI = \frac{4.07 - 4}{4 - 1} = 0.023$$

当时 $n=4$,查表得 RI (平均随机一致性指标) = 0.90。因此 P 偏离一致性的相对指标为: $CR = CI/RI = 0.023/0.90 = 0.025 < 0.1$ 。这表明判断矩阵 P 具有比较满意的一致性。故:

$$\alpha_d = 0.154, \alpha_\Phi = 0.064, \alpha_D = 0.628, \alpha_T = 0.154$$

2.4 距离危险度隶属函数

参考船舶领域方面的研究成果^[60],我们可以通过比较目标船与本船之间距离 d 和本船的船舶领域范围来获得分道通航区域的距离危险度隶属函数。

首先,定义船舶安全会遇领域 d_1 和动界 d_2 。船舶安全会遇领域 d_1 指本船周围所保持的与他船间的最低安全会遇距离。目标船如果侵入该区域内,可认为目标船与本船的碰撞危险度为 1。动界 d_2 是本船开始采取行动以避免紧迫局面时与他船的距离为基础的超级领域^[7]。当本船的动界被目标船侵入时,本船将做出采取适当行动的决策,即当目标船位于本船动界内,目标船相对本船存在碰撞危险。当目标船位于动界外时,认为目标危险度为 0。有研究表明,在分道通航制区域中,追越碰撞所占的比例高于其他水域,因此定义船舶领域在船首和船尾的长度取相同。本文对 d_1 和 d_2 进行简化,近似成两个以本船重心为中心的椭圆(如图 1)。由船舶领域的定义可以看出, d_1, d_2 和本船的船长、船宽、航速及交通密度密切相关。

考虑到分道通航制区域的航道宽度是基本固定的,因此:

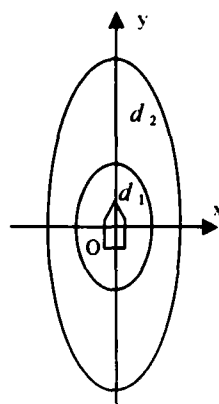
设 d_1 的长、短半轴分别为:

$$\alpha = kL \quad b = kB$$

设 d_2 的长、短半轴可为:

$$\alpha' = \lambda_1 \alpha \quad b' = \lambda_2 C$$

式中: L 为船长; B 为船宽; C 为通航分道的航道宽度; k, λ_1, λ_2 为比



(图 1)

例因子,由本船的航速、操纵性能、当时能见度、交通密度等因素确定取值,k可视情于6~10间取值, λ_1 应取大于1的值, λ_2 取值小于1。这三个值确定的主观性较强,可以通过回归计算进行校验和确定。

考虑各边界应是平滑和模糊的,距离危险隶属度函数可

$$r_d = \begin{cases} 1 & d \leq d_1 \\ \left(\frac{d_2 - d}{d_2 - d_1} \right)^2 & d_1 < d \leq d_2 \\ 0 & d_2 < d \end{cases}$$

$$\text{式中: } d_1 = \sqrt{\frac{a^2 b^2}{a^2 \sin^2 \Phi + b^2 \cos^2 \Phi}} \\ d_2 = \sqrt{\frac{a'^2 b'^2}{a'^2 \sin^2 \Phi + b'^2 \cos^2 \Phi}}$$

(参考椭圆极坐标方程), Φ 为目标船方位。 r_d 的值是结合了 Φ 值对 d 的影响,通过 d 值运算得到的。

2.5 方位危险度隶属函数 r_ϕ

船舶行驶于分道通航制区域中都要沿着通航分道按照该

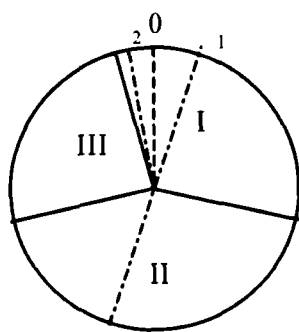


图 2

分道的船舶总流向行驶。因此在通航分道中,能与本船产生会遇态势的基本上为行驶于同一侧分道的船舶,即与本船航向基本相同的船舶。左舷的船舶大部分为与本船反向的通航分道中的船舶,虽然航向与我接近相反,但有分

隔区的存在,反向分道中的船舶跨越分隔区的可能性较低。

所以,位于本船右舷的船舶比位于左舷的船舶具有更大的危险度。在前面提到过,有研究表明在分道通航制区域中,追越碰撞所占的比例高于其他水域。故目标船位于本船不同方位区域的碰撞危险等级顺序可如图2所示。相对方位在I区的目标船需要获得本船最多的注意,特别是在船首附近,因为当目标船有意或无意航行在错误的通航分道中时,其方位出现在这个区域的可能性最高。当通航分道出现转弯时,上述分析结论也是基本成立的。

根据建立动界模型的调查数据统计分析,不同方位的目标船对本船所构成的危险程度不同,使得本船感受的碰撞危险大致在方位 19° 时最大,在方位 199° 时最小^[9],两者间之差接近。参考该结论并结合图2分析可得:当目标船方位 $\Phi=\Phi_1$ 时,其方位危险度最高, $r_\phi=1$;当 $\Phi=\Phi_2$ 或 $\Phi=\pi/2+\Phi_1$ 时, $r_\phi=0.5$;当 $\Phi \in (\Phi_1, \pi/2+\Phi_1)$ 时, r_ϕ 为减函数;当 $\Phi \in (\pi/2+\Phi_1, \Phi_2)$ 时, r_ϕ 先减后增;当 $\Phi \in (\Phi_2, \Phi_1)$ 时, r_ϕ 为增函数。对方位危险隶属度函数

进行简化并拟合,可得到 r_ϕ 为:

$$r_\phi = \begin{cases} \frac{M + \sqrt{(M)^2 + 8}}{4} & \Phi_1 \leq \Phi < \pi + \Phi_1 \\ \left| \frac{1}{2} M \right| & \pi + \Phi_1 \leq \Phi < 3\pi/2 + \Phi_1 \\ 0 & 3\pi/2 + \Phi_1 \leq \Phi < \theta + \Phi_2 - \pi/2 \\ 2N[\cos \Phi \cos(\theta + \Phi_2) + \sin \Phi \sin(\theta + \Phi_2)] & \theta + \Phi_2 - \pi/2 \leq \Phi < \Phi_1 \end{cases}$$

$$\text{式中: } M = \sin \Phi \sin \Phi_1 + \cos \Phi \cos \Phi_1, N = \sqrt{1.25 - \cos(\Phi_1 - \Phi_2)}$$

$$/2 \sin(\Phi_1 \Phi_2), \theta = \arccos 1/4N.$$

2.6 DCPA 危险度隶属函数 r_D

DCPA 值的大小反映目标船对本船造成的危险程度很明显,这在任何水域都是一致的。目标的 DCPA 值越大,其相对本船的碰撞危险程度就越小。参考文献[3],同时考虑 DCPA 也是一个距离值,图1的船舶领域同样可以用以分析 DCPA。故目标 DCPA 的危险度隶属函数可为:

$$r_D = \begin{cases} 1 & D \leq D_1 \\ \left(\frac{D_2 - D}{D_2 - D_1} \right)^3 & D_1 < D \leq D_2 \\ 0 & D_2 < D \end{cases}$$

式中: $D_1 = m_1 d_1$, n mile, $D_2 = m_2 n$ mile。因 DCPA 与航速的联系不大,故 D_1 的值应比 d_1 的值相差一个跟航速有关的比例系数 m_1 。 D_2 的设置应受通航分道宽度的影响,可取1.5~2倍C值。

2.7 危险度隶属函数

目标的 TCPA 值越大,其相对本船的危险度越小,这在任何水域也都是是一致的。仅单独考虑 TCPA 因素时,当 TCPA 值很大时,虽然 r_T 趋向于很小值,但它表示的是碰撞危险到来的快慢,和反应时间的充裕性。因此,不应该同 r_D 一样直接把很小的 r_T 值近似为0。TCPA 危险度隶属函数可为:

$$r_T = \begin{cases} 1 & T \leq T_0 \\ \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{(T - T_0)}}{T_0}} & T_0 < T \end{cases}$$

式中: $T_0 = \frac{d_1}{|\dot{V}_s|}$, (\dot{V}_s 为速度矢量,如果目标船速度可获得则可用两船的相对速度代入,否则可视情取本船速度的 n 倍)。

2.7 危险度的排序

根据 CR 值的大小,可以把碰撞危险度划分为以下5级:

I级:1.00~0.81 目标危险; II级:0.80~0.61 目标较危险; III级:0.60~0.41 目标存在危险; IV级:0.40~0.21 目标较安全; V级:0.20~0 目标安全。

3 结束语

本文通过考虑分道通航制区域中对船舶行驶的特殊要求及其航行特点,修正或重新给出了各个考虑因素的隶属度函数,并应用层次分析法对各个因素的权重进行了合理分析,在

海事有效监管引发的思考

□广西海事局 零建广

摘要:实现海事有效监管,确保达到“船舶适航、船员适任、安全畅通、有效监管、优质服务”,为社会提供安全、有序、稳定的水上交通安全环境。主要从脱离于保姆式监管;以地方政府为依托;以严格执行海事行政处罚制度为基础;以创新管理理念、管理手段为保障这几个方面处理和考虑。但由于海事有效监管是一个复杂的系统工程,寻找出一个实用性、有效性,既合情又合理的方法,将仍是需要我们不断探讨和提高的议题。

关键词:海事有效监管 保姆式监管 地方政府依托 行政处罚制度 创新管理理念

有效监管,狭义的解释是有成效、有效果的监督管理。拓展到海事而言,有效监管指的是:海事部门依据法律所赋予的水上交通安全监督检查的职能,以“三个代表”为指导,落实科学发展观,以人为本,按照“三精两关键”的要求,依照“统一政令、统一布局、统一监督管理”的一体化格局,严格执法,确保达到“船舶适航、船员适任、安全畅通、有效监管、优质服务”,遏制一般,杜绝重大、群死群伤水上交通事故的发生,确保辖区水上交通安全形势持续稳定,为社会提供安全、有序、稳定的水上交通安全环境。但如何做到有效,这是一个很值得我们探讨的问题,笔者就此谈谈个人一些不成熟的愚见。

一、海事有效监管要脱离于保姆式监管

《安全生产法》、《海上交通安全法》、《内河交通安全管理条例》等法律法规都对安全生产作出了明确的规定,即安全生产

主要责任在于生产单位,生产监督管理部门主要履行的是监督管理职责。海事部门属于国家设置在地方的水上交通安全监察部门,履行的是水上交通安全监督检查的职能。海事机构的监管对于监管相对人而言属于外部监督,不可能参与生产的全过程,只能通过法定程序和现场抽查核对某些事实,发现和制止违法行为,因此我们不能混淆外部监督与内部管理的区别,不能将企业在内部管理中实施的保姆式管理用于外部监管中,否则将不利于海事部门实施有效的监督,也会造成企业的不健康发展。过去那种保姆式的服务理念是在过去市场经济尚不完善,计划经济占主导地位下的产物。随着我国社会主义市场经济体制的建立和逐步完善、企业所有制格局的改变、政府与企业关系的变化、加入世贸和信息化社会建设速度的不断加快,这种政企不分的状况应得到一个根本的改变。在笔者辖区曾经发生过这么一起案例:一乡镇客渡船在船舶检验证书过期的情况下,仍非法投入营运,辖区海事部门在定期监督检查中发现了这个隐患,及时向船主送达了《船舶隐患整改通知书》、《船舶停航通知书》,同时对船主进行了警告教育,并向当地政府送达了《安全管理建议书》,该船主也当场明确表示进行停航整改。然而,在海事人员离开后,该船舶又继续营运,结果发生了船舶破损进水翻沉的事故,造成了3人死亡,一人受伤的重大水上交通事故。事故发生后,死亡人员家属以未尽到监管职责为由将海事部门告上了法庭,法院经充分调查后判定,事故造成的主要原因是由于船主在

此基础上,利用模糊综合评判方法建立了针对分道通航制区域中行驶船舶的碰撞危险度模型。但模型为了计算和表示的方便,存在着以下问题:其中的个别函数进行了手工简化拟合,可能和实际情况有所差别;在模型使用中对个别系数进行确定的主观度较大。因此,在模型的实际应用中,我们可以采取以下的方法对模型进行优化:利用计算机对函数进行较精确的计算拟合,或者利用回归的思想对误差进行校正;结合神经网络等人工智能技术对系数进行样本学习,减少主观度,使模型达到更好的效果。另外,分道通航区域下的船舶领域模型也有待进一步优化或者分局面进行细化。■

参考文献:

[1] 严庆新.船舶碰撞危险度评判模型.武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2002,(2).

[2] 郑道昌.船舶会遇危险度的评价.大连海事大学学报,2002,(2).

[3] 郑中义,吴兆麟.船舶碰撞危险度的新模型.大连海事大学学报,2002,(2).

[4] 孙占华.雷达导航避碰模糊识别.信息与控制,2000,(5).

[5] 赵劲松,王逢辰,今津隼马.船舶避碰学原理.大连海事大学出版社,1999.1143.

[6] 贾传荣.拥挤水域内船舶领域的探讨.大连海运学院学报,1989,(4).

[7] P.V.Davis,M.J.Dove and C.T.Stockel.A computer simulation of marine traffic using domains and arenas.The Journal of Navigation,1980,vol.33,no.2.

[8] E.M.Abdel-Galil.Marine traffic organization in international waters. Proceed- ings of the 4th International Symposium on Vessel Traffic Services,Bremen,1981.

[9] 杨纶标,高英仪.模糊数学原理及应用(第三版).华南理工大学出版社,2001.3.